Symp. of Pl. Nem. Dis. Contr.: P 15～P 32 (1989)

台灣松材線蟲萎凋病之發生及其防治

曾 顯 雄[1]　顏 志 恆[2]

摘　要　松材線蟲萎凋病自1913年首次於日本被報導發生之後逐漸蔓延，成爲二十世紀以來，日本林業最爲嚴重之流行病害；每年枯死之松樹達數百萬株，用以防治之經費，高達日幣120億，損失至鉅。本病證實由松材線蟲 *Bursaphelenchus xylophilus* 感染爲害所致，而由天牛媒介傳播。罹病之松樹首先流脂停止、水分蒸散減少、運輸困難，繼之，針葉轉呈紅棕色，最後，整株迅速萎凋死亡。被害松樹（Pinus）種類已達22種；除外，極少數之冷杉（Abies）、雪松（Cedrus）、落羽松（Larix）、雲杉（Picea）亦有罹病之報導。目前，除日本以外，松材線蟲萎凋病亦在美國33州、加拿大南部、中國大陸南京一帶發生。而本省北部桃園縣、台北縣枯死之黑松、琉球松也證實係由松材線蟲感染所致；目前發病地點多達18處，但仍以侷限於桃園縣、台北縣一帶，追踪顯示，本病似有逐漸擴展、蔓延之趨勢。一則有鑑於過去本病在日本爲害慘重，再則，本省全年之生態條件比之日本似更適於松材線蟲以及媒介昆蟲的繁殖，若任其蔓延，則終將波及宜蘭縣爲數達五、六萬公頃之琉球松林，影響景觀、水源涵養、水土保持以及造成經濟層面之損失，故宜迅速謹愼採取適當之防治措施。所謂他山之石可以攻錯，借鏡日本之防治方法，針對本省之松樹線蟲萎凋病，願意提供幾點意見，以供防治之參考。

一、罹病地區，如大溪、慈湖、復興鄉、角板山、廻龍、泰山、三峽、陽明山、石門……等處枯死之松樹，宜立即加以砍伐，迅速焚燬，或送製紙廠做爲紙漿原料。

二、上述罹病地區，仍蒼翠健康之松樹，宜以滅豬松（

1.國立台灣大學植物病蟲害學系教授
2.國立台灣大學植物病蟲害系碩士

Morantel）、殺線蟲劑，行樹幹高壓灌注，每2～3年一次；其目的在收預防之效果。

三、台北縣、宜蘭縣山區較爲感病之琉球松林，考量經濟效益、生態條件，若合適時，以較爲抗病之濕地松林予以取代更新。

四、避免罹病地區之松材轉運至其他縣市，以免人爲助長病原之傳播。

松樹線蟲萎凋之機制，雖經報導和代謝所產生之毒素有關，但仍有待進一步探討。在防治方面，根本解決之道，在於抗病育種。不論經由傳統之雜交育種或經由組織培養之無性繁殖等途徑亦皆有待研究與發展。

一、前　　言

松林在台灣北部，在七〇年代有零星之萎凋發生之報導。以往一向認爲此類之萎凋係由於潰瘍病或天牛取食爲害所致。1983—1985年間萎凋病在北部桃園、台北兩縣迅速蔓延，日趨嚴重。由萎凋松樹所檢出之線蟲所具之型態、構造特徵以及體軀值（表一）和日本、美國所報導之松材線蟲相同（圖1,4—8），故應爲同種殆無疑義[1,2,8,13,14]。省產之松樹、黑松、琉球松，在感染得病後所呈現之徵狀和病勢進展過程（圖2,3）也和日本[13]、美國[26]所報導者極其略似，故確證本省松材線蟲萎凋病的存在（1,2）。

松樹萎凋病於1913年首先於日本長崎報導其發生[29]，其後逐漸蔓延，而成爲日本20世紀林業最嚴重的流行病[14]。據日本農林水產省之統計，因本病所引起之損失，由1930年的三萬立方公尺材積增加到1979年間的二百四十萬立方公尺材積；被害松林達50萬公頃，約佔日本總林面積的百分之二十五[14]。本病除日本以外，在中國大陸[16]、香

表一　台灣松樹線蟲之體軀值

Table 1. Dimension of a Taiwanese Population of *Bursaphelenchus xylophilus*.

Sex	Source	Measurement					No. of Nematode Measured
		Body length (μm)	Body width (μm)	a-value	Spear (μm)	V-value	
Female	Taiwan	1257.2±82.5	29.9±3.4	41.0±3.3	14.2±3.3	76.1±1.6	10
Male	Taiwan	1174.9±78.6	29.4±3.6	39.1÷3.4	13.9±1.6	—	10

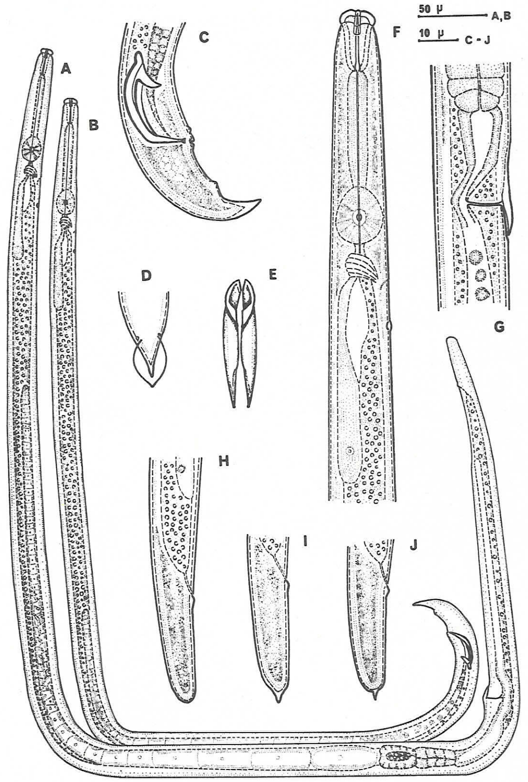

圖1 松材線蟲各部型態構造圖（摘自 Mamiya & Kiyohara 1972）A.雌蟲 B.雄蟲 C.雄蟲尾部 D.雄蟲尾部尖端及交接囊 E.由腹部觀察可見一對交接刺 F.前半部 G.雌蟲生殖口 H–J雌蟲尾部

圖2 台北縣廻龍地區黑松罹患松材線蟲萎凋死亡之情形。

圖3 台北縣金山地區琉球松罹患松材線蟲萎凋病之情形。紅棕色之植株即爲枯萎之松樹。

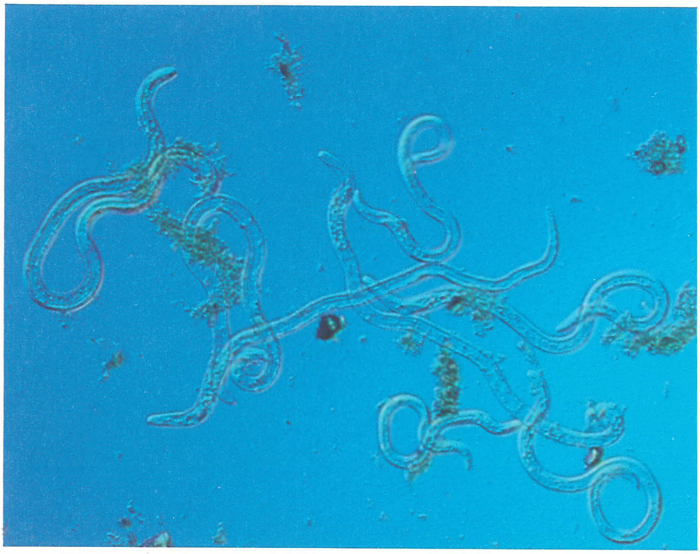
圖4 形態

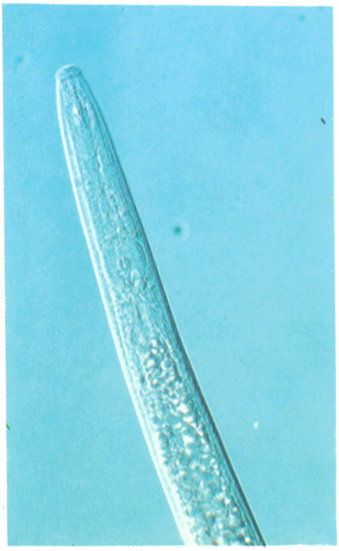
圖5 中部食道球膨大約占體寬四分之三以上

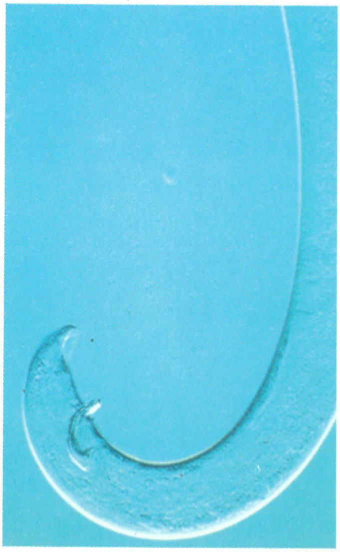
圖6 雄蟲之尾端呈鷹爪狀，且交接刺前端呈圓盤狀，並有交接囊

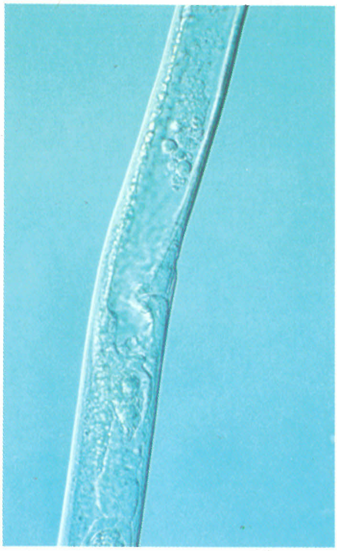
圖7 雌蟲之生殖孔具有生殖孔蓋

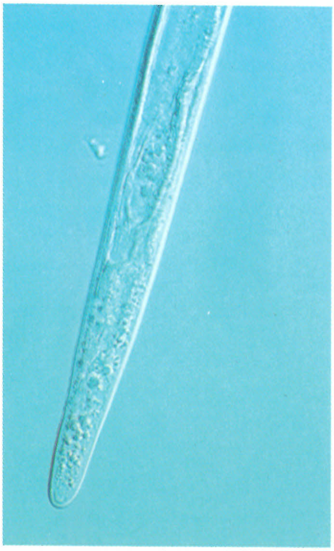
圖8 雌蟲尾部呈手指狀

圖4～8 松材線蟲 *Bursaphelenchus xylophilus* 之形態及其構造

港[28]、加拿大[3]、法國[7]也都有發生之報導。有鑑於此病之嚴重性，爲防止此病原線蟲無意中被引進，歐洲各國對松材之進口，都有相當嚴格之檢疫措施，本文擬就寄主樹種、病害發展史，以及防治策略加以詳論，以提供參考。

二、寄主樹種

據日本或美國的調查或接種試驗顯示，共有34種松樹（*Pinus* spp.），或2種落葉松（*Larix* spp.），3種雪松（*Cedrus* spp.），2種雲杉（*Picea* spp.），及1種冷杉（*Abies* sp.）皆可遭受松材線蟲感染[8,14]。但其中以日本黑松、日本赤松、琉球松、歐洲赤松、輻射松，以及奧地利松最易感病，被害之程度也最爲嚴重。本省之固有松樹樹種如台灣二葉松就極爲抗病，但所引入之黑松及琉球松卻極爲感病，而且在台北、宜蘭一帶栽植面積甚廣，故應特別防患（表二）。

表二　本省引進及本地種松樹對松材線蟲之抗感病性

抗、感病性	中名	學名
極感病	1. 日本赤松	*Pinus densiflora*
	2. 琉球松	*P. luchuensis*
	3. 奧地利松	*P. nigra*
	4. 輻射松	*P. radiata*
	5. 歐洲赤松	*P. sylvestris*
	6. 日本黑松	*P. thunbrgii*
感病	1. 傑克松	*P. banksiana*
	2. 砂地松	*P. clausa*
	3. 海松	*P. koraiensis*
	4. 卵果松	*P. oocarpa*
	5. 法國海岸松	*P. pinaster*
有發病報導	1. 芒刺松	*P. echinata*
	2. 濕地松	*P. elliottii*
	3. 哈列布松	*P. halepensis*
	4. 大王松	*P. palustris*
	5. 剛葉松	*P. rigida*
	6. 白松	*P. strobus*
	7. 德達松	*P. taeda*
抗病	1. 馬尾松	*P. massoniana*
	2. 台灣二葉松	*P. taiwenensis*

抗、感病性	中名	學名
	1. 日本冷杉	*Abies firma*
	2. 台灣冷杉	*A. kawakamii*
	3. 雪松	*Cedrus deodara*
	4. 落葉松	*Larix kaempferi*
	5. 台灣雲杉	*Picea morrisonicola*
可能爲罹病，應注意	6. 台灣華山松	*Pinus armandii var. masteriana*
	7. 瘤果松	*P. attenuata*
	8. 加拿利松	*P. canariensis*
	9. 島松	*P. insularis*
	10. 長葉松	*P. longifolia*
	11. 南洋松	*P. merkussii*、
	12. 台灣五葉松	*morrisonicola*
	13. 重枝松	*P. patula*、*P*
	14. 笠松	*picea*
	15. 羅氏松	*P. roxburghii*

三、病害發展史

病徵——

被感染之松樹，少數枝梢首先呈現黃化，然後轉變成深紅色、紅棕色，死亡。其後萎凋逐漸蔓延至其它之枝條上，最後整株針葉變成紅棕色，而萎凋死亡（圖2, 3）[14,26]。一般初夏感染之松樹，於夏末即萎凋死亡，發病歷程爲時僅15天到3個月而已。

病原——

松樹萎凋病以往皆以爲係由於昆蟲，尤其是天牛科、象鼻蟲科以及小蠹蟲科之昆蟲取食所致。1969年 Tokushige 和 Kiyohara 兩氏在研究眞菌和此病害之關係時，偶然發現松材中有大量松材線蟲之存在。更進一步經由接種試驗證實此類松材線蟲之單獨爲害可導致松樹萎凋[24]。Mamiya 及 Kiyohara 於1972年將此松材線蟲命名爲 *Bursaphelenchus lignicolus*（圖1）[13]。但美國之 Nickle 等氏於1981年在比較 *B. lignicolus* 和 *B. xylophilus* 之型態特徵以及進行交配試驗，證實 *B. lignicolus* 爲 *B. xylophilus* 之同種異名（Synomym）[15,16]。*B. xylophilus* 早在1929年即由 Steiner 和 Buhrer 兩氏發現存活於大王松（*P. palustris*）之松材中，並命名爲 *Aphelenchoides xylophilus*[21]。但當時仍不知此線蟲可以引起松樹萎凋病。Nickle 於1970年在研究

Aphelenchoides 這科各屬之分類學時，認爲 *A. xylophilus* 雄蟲具交接尾囊（Bursa）（圖6），雌蟲具生殖孔蓋（Vulval flap）（圖7）等特殊構造，故特立一新屬 *Bursaphelenchus*，而將 *A. xylophilus* 改爲 *B. xylophilus*[5]。台灣由桃園縣、台北縣等十五處萎凋枯死之黑松或琉球松（表三）所分離之松材線蟲之形態構造特徵或體軀值（圖4—8，表一）和美國[8,10]或日本[13]所報導之松材線蟲相符合，故應爲同一種殆無疑義。本省各地所分離之松材線蟲不論對黑松或琉球松都有很強之病原性（表四）。但松材線蟲來自不同寄主或地點，常有不同致病能力之品系存在，這在日本或美國都曾有報導[5,8,14]。

表三　全省已發現松材萎凋病之地點

Table 3. Pine wilt disease distribution in Taiwan.

發現地點	簡稱	樹種
1.臺北縣樹林鎮迴龍社區	迴龍（Hui—Long）	黑松
2.中壢市中正理工學院	中壢（Chung—Li）	黑松
3.桃園市虎頭山公園	桃園（Tao—Yuan）	黑松&琉球松
4.臺北縣三峽鎮白鷄廟	三峽（San—Xia）	琉球松
5.臺北縣淡水鎮行忠社區	淡水（Dan—Shui）	琉球松
6.臺北縣關渡鄉	關渡（Guan—Du）	琉球松
7.臺北縣金山鄉雲台樂園	金山（Jing—Shan）	琉球松
8.臺北縣石門鄉	石門（Shi—Men）	琉球松
9.桃園縣大溪鎮	大溪（Da—Syi）	黑松&琉球松
10.臺北縣坪林鄉小格頭	小格頭（Xiao—Ge—Tou）	琉球松
11.臺北市陽明山國家公園	陽明山（Yang—Ming—Shan）	黑松
12.臺北縣新店市	新店（Xin—Dian）	琉球松
13.臺北縣泰山鄉	泰山（Tai—Shan）	琉球松
14.臺北縣石門鄉茂林社區	茂林（Mao—Lin）	琉球松
15.桃園縣復興鄉	復興（Fu—Hsing）	黑松&琉球松

表四　本省十五個罹病地區分離出之松材線蟲接種於日本黑松及琉球松幼苗，所得之累積死亡率。

Table 4. Cumulative mortality of Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) and the luchu pine (*P. luchuensis*) inoculated with *Bursaphelenchus xylophilus* extracted from 15 areas.

Inoculum source	Cumulative mortality (%)	
	P. luchuensis	*P. thunbergii*
TY （桃園）	80 (4/5)#	-----*
SX （三峽）	100 (5/5)	-----
TS （泰山）	100 (5/5)	-----
CL （中壢）	80 (4/5)	-----
HL （迴龍）	80 (4/5)	-----
SM （石門）	80 (4/5)	-----
DSh （淡水）	80 (4/5)	-----
DSi （大溪）	100 (5/5)	-----
JS （金山）	-----	100 (5/5)
XGT （小格頭）	-----	80 (4/5)
ML （茂林）	-----	80 (4/5)
XD （新店）	-----	100 (5/5)
GD （關渡）	-----	80 (4/5)
YMS （陽明山）	-----	100 (5/5)
FH （復興）		100 (5/5)
CK （對照組）	0 (0/5)	0 (0/5)

Inoculated dead trees/total inoculated trees

* Not determined

媒介昆蟲——

松材線蟲主要存活於松材之松脂管（Resin canal）、射髓或維管束、形成層…等處，故在自然界無法依賴風雨傳播，非得依賴其它媒介不可。在自然界松材線蟲之得以迅速蔓延，主要借助媒介昆蟲，尤其是鞘翅目、天牛科之天牛傳播。在台灣、日本爲松斑天牛（*Monochamus alternatus*）（圖9），而在美國爲長角卡羅來納天牛（*M. caroli-ensis*）[8,10,11]。天牛、松材線蟲二者間存在相當微妙之共生關係[26]。存活於枯死

β-ethanol 所吸引，而於樹皮下產卵（圖10），卵於一週內孵化成幼蟲，而於樹皮中蛀食（圖11,12），待成長爲四齡幼蟲時，鑽入邊材中，在蛀食孔道末端形成蛹室越冬。翌年早春，羽化爲成蟲時，分泌誘引物質，誘引松　線蟲。隨後線蟲進入天牛之氣管。此攜帶有線蟲之天牛離開枯樹（圖13），飛到健康松株取食，再次開始另一新的病害環（圖14）。

繁衍之目的。松樹之松脂分泌也因松材線蟲之感染大量降低甚至停止，而天牛之幼蟲也可避免爲松脂所溺，而順利成長[26]。

圖9　松斑天牛之雄蟲於松樹枝梢取食

病害環——

在日本5—7月下旬，羽化之松斑天牛自枯死之松樹飛出，同時於氣管中攜帶四齡之傳播型之松　線蟲。飛出之天牛於幼嫩松樹枝條上取食，此時，松材線蟲由天牛之氣管及氣門中游出，移到腹部體節處，然後脫離昆蟲體表，由天牛之取食傷口進入松樹枝條之組織內，三小時後即可　入松脂管中（圖16），後取食松脂管　上皮細胞及鄰近之薄壁細胞（圖17）。四齡之傳播型松材線蟲，兩天後脫皮而變成成蟲，並開始繁殖，約6—20天後在木質部或皮層之松脂管中可發現新一代之卵及二齡幼蟲，但線蟲族羣仍局限於感染部位附近。20～30天後，葉片蒸發量減少，甚至停止，轉呈紅色，並開始萎凋。此時松樹邊材失水，其它之侵入之眞菌及細菌大量繁殖。眞菌也提供松材線蟲部分之食物來源，使線蟲族羣迅速增加，分佈擴散全株。另一方面，羽化後之天牛一邊傳播線蟲、一邊取食，經過2—3週後成熟，便被罹病松樹所產生之揮發性物質、如 α-pinene 及

松樹木材內之天牛之幼蟲，在化蛹越冬後，將羽化變成成蟲時，會分泌未飽和脂肪酸或呼吸所產生之二氧化碳具吸引松材線蟲之能力。松材線蟲在被吸引前往後，經脫皮後變成傳播型第四齡幼蟲，進入天牛成蟲頭、胸、腹、腳或觸角上之氣管。天牛飛出，遷移到新的松樹植株取食或產卵時，松材線蟲即可游出氣管、氣門，而由傷口進入松材之松脂管內襯之上皮細胞（Epithelium cells）或鄰近之射髓薄壁細胞取食，而達到傳播、

本省氣候遠較日本溫暖，松斑天牛或許無所謂越冬，並且生活史一年不少於五代（N. Enda , 1988, 個人通訊），因此一年常見有罹病松樹枯死（圖 2 ， 3 ），故病害環理應與日本或美國有所差異，但詳情有待探討。

圖10 松斑天牛成蟲產卵所留下之產卵痕跡

圖11 松斑天牛之幼蟲

圖12 松斑天牛取食松材所排出之取食木屑

圖13 松斑天牛之羽化孔

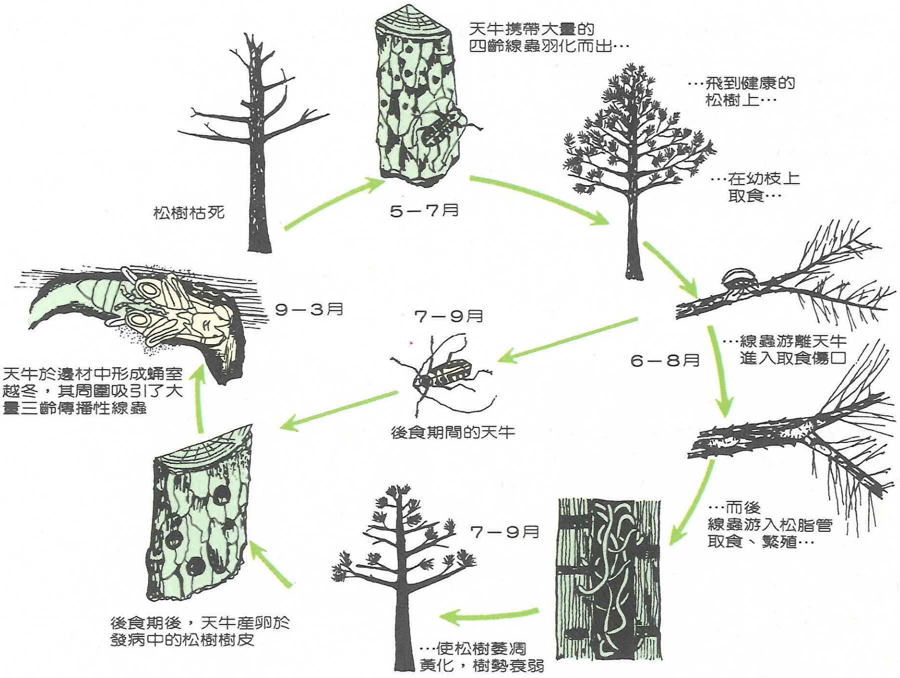

圖14松樹萎凋病的病害環（摘自Wingfield等，1982）

病態組織學及生理學之變化一

松樹自感染松材線蟲到發病枯死，歷程極短，不過數月而已，這其間其組織學及生理學上之變化極大，此與松樹迅速死亡關係密切。

大部分的松材線蟲於接種後數小時內，經由傷口進入松脂管，而有少部分由木質部和皮層游入松樹組織內[14,22]。接種後 1 天，線蟲所在之松脂管其上皮細胞之細胞質呈顆粒化，細胞核變形（圖16）[2,22]，此和正常細胞顯然不同（圖15）[2]。此外，上皮細胞周圍之薄壁細胞也褐變，壞死（圖17）[2,22]，而後線蟲在軸松脂管（Axial resin canal）及徑松脂管（Radial resin canal）上下左右移動，這些部位之松脂管被破壞之部份增大（圖18），而後其鄰近之薄壁細胞亦隨之逐漸死亡，這時最重要的生理變化是流脂顯著減少，呼吸率上昇[14]。接種後10天左右，形成層及韌皮部細胞開始變色，擠壓變形（圖19，20）[2]。有一些體形較小的二齡幼蟲穿過射髓管胞之孔隙達到假導管[14,22]，使其輸送水分能力受阻，蒸散降低[23]。其後流脂完全停止，接種部位上下附近之木質部薄壁細胞幾乎全死，而此時線蟲之族羣大增，超過接種量10倍以上，且分散全

身[14]，致使被破壞之部位隨之擴大，形成層褐化，不再分裂，且形成許多空室。往後數日，幾乎所有松脂管的上皮細胞及鄰近薄壁細胞都被破壞；皮層、韌皮部、形成層及射髓管胞等細胞之原生質收縮，變色及顆粒化，細胞核亦消失而死亡[23]。此時蒸散率幾乎完全停止，松樹萎凋呈紅棕色而枯死[14]。

Mamiya 認爲松樹迅速枯死之原因是上皮細胞及薄壁細胞被破壞[14]，而足以破壞或殺死這些細胞係由於線蟲所分泌之纖維分解酵素（Cellulase）所致[17]。然而在感染初期，遠離感染處之一些細胞在未被松材線蟲取食之前即已死亡，故可推測另有些化學

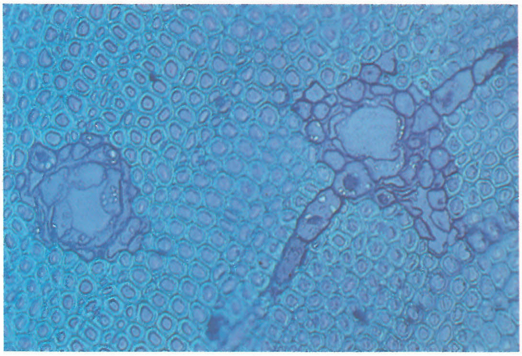

圖15　健康琉球松之松脂管構造（400×）

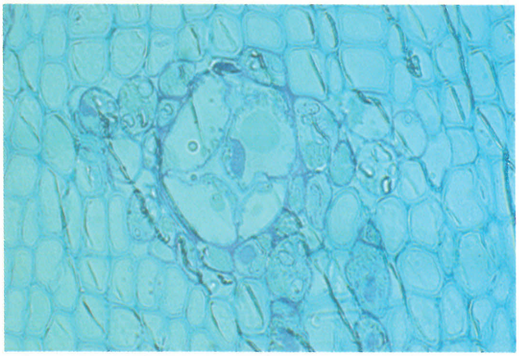

圖16 琉球松接種松材線蟲四天後，上皮及薄壁細胞顆粒狀變性之情形（400×）

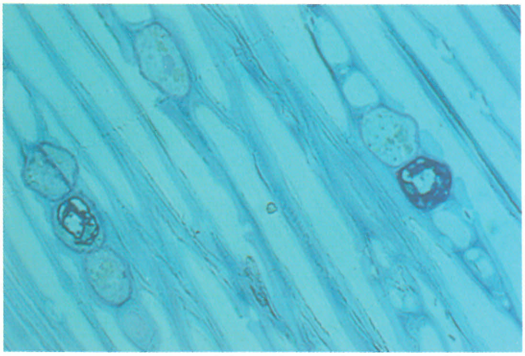

圖17　琉球松接種松材線蟲十五天後，射髓薄壁細胞壞疽死亡，某些則膨大阻塞紋孔（400×）

圖18　琉球松接種松材線蟲三十天後，被線蟲取食之松脂管上皮細胞及射髓薄壁細胞遭受破壞，死亡，而造成許多空腔（400×）

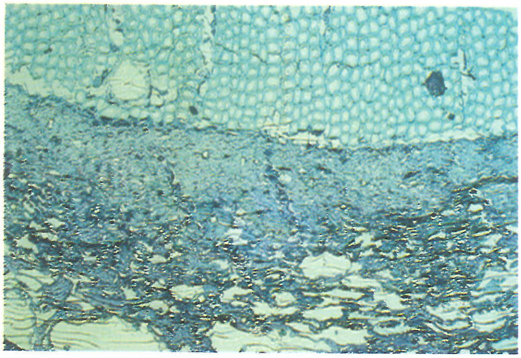

圖19　琉球松接種松材線蟲三十天後，韌皮部及形成層細胞受擠壓變形，並且崩解（200×）

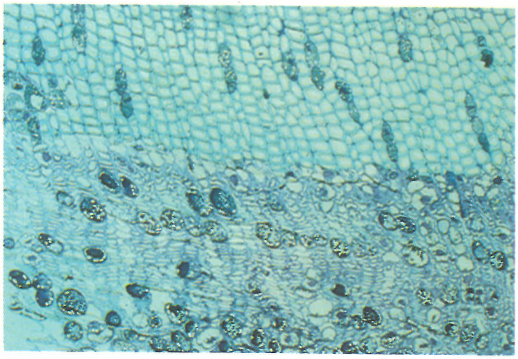

圖20　琉球松接種松材線蟲十五天後，韌皮部薄壁細胞顆粒化死亡之情形（200×）

物質與萎凋病徵之表現有關[4,8,1820,25]。OKu 等氏首先從罹病之日本赤松抽取一些水溶性毒素[18]，Boll 等[4]及 Shaheen 等氏[20]亦從歐洲赤松抽取同樣之毒素來。將這些毒素處理健株時，同樣可以表現出萎凋病徵[10,20,25]。巧合的是萎凋反應因松樹種類之不同而有不同之敏感度，其敏感度之高低與該樹種對 *B. xylopilus* 之感病性成正比[10,20,25]。這些萃取之毒素爲低分子量，非酸性，耐熱性而具透析性的脂質，可能是酚類或碳酸類[20]。Veda 等氏曾鑑定出其中四種：Benzoic acid，Pyrocatechol, 8－Hydroxycarvotanacetone，及 Dihydrocaniferyl alcohol，而其中 Benzoic acid 與 8－Hydroxycarvotanacetone 所造成之病徵與線蟲感染者極爲相似[24]。在線蟲感染初期，便產生這些毒素[4]，而此時松脂管之流脂已減少，氣孔50％關閉，且線蟲尚未分佈全株，而線蟲族羣亦未大增，如此可說明此等毒素是造成早期病徵之主要因素之一[4]。這些毒素在健康之松樹抽取不到[10,20,25]，故顯然係松樹感染線蟲所產生之不正常代謝物[18]。

由上述各項研究初步結果，顯示之證據可以解釋萎凋之部份機制。台大植病研究室爲探討此萎凋機制，曾分析比較抗病（濕地松 *P. elliottii*），感病（黑松 *P. thunbergii*）松樹在感染松材線蟲之病變過程（Pathogenesis）植物生長素之變化情形。在生長素 Indole—3— acetic acid（IAA），Cytokinin（Zeatin，Zeatin riboside），Abscisic acid（ABA）及Ethylene中，雖有所變動，但其中以Ethylene之變動最具戲劇性。日本黑松在接種線蟲15－30天後，乙烯量劇增，而爲對照組之15至100倍。而濕地松在接種線蟲15－30天後乙烯量無明顯之變化[2]。乙烯可誘使植物防禦素（Phytoalexin）的產生，而 Bolla 等氏的報告指出防禦素之過量產生和松樹萎凋死亡有關[4]。乙烯之異常是松樹萎凋死亡之因或是果，仍需待更進一步的研究證實。

發病生態—

環境因子會改變松樹對松材線蟲之罹病性，亦會影響松樹萎凋病之流行。其中，尤以溫度及水分最爲重要。在松樹生長期間，若遇高溫，乾燥之氣候，病害之損失便急速增加[14]。Mamiya 氏以爲一地區之年平均溫可當做該地區松樹萎凋病發生之重要指標。如日本松樹萎凋病發病最嚴重的南部地區，年平均溫便在15－17℃以上；至於日本北部，則年平均溫度僅10－12℃以下，故發病輕微[14]。在接種試驗上，亦有相同之結論。在接種溫度25℃及30℃時，在接種後30－45天內便可出現病徵，而15℃及20℃病徵便無法表現[10]。

由日本所得之研究結果來加以判斷，似乎本省所具備之環境條件更適於松材線蟲萎凋病之流行。這點令我們對本病之發生不能不持戒愼之態度。

三、防 治 策 略

全世界之松材線蟲萎凋病，以日本最爲嚴重，因而有關防治之研究做的最多，而防治工作也做得最爲徹底，可資借鏡之處亦最多[9,14]。日本在1970年以前，主要採用林間衞生防治法，砍伐病株，剝去樹皮，加以燒毀。1970－1982年間，改以葯劑爲主，全面噴葯防治控制媒介昆蟲以及松材線蟲。防治媒介昆蟲之葯劑，如 Fenitrothion 、Fenthion 、 Diazinun 及 Carbaryl ，採用高壓噴霧器或直昇機，於天牛羽化初期及最盛期進行噴葯。至於控制松材線蟲之族羣，主要以樹幹注射葯劑爲主[19]。一般於天牛產卵前三個月，於離地50公分處，用鑽孔器打一直徑0.9公分，深５－10公分之洞，以高壓灌注器灌注 Mesulfunphas (Nemanon) 或 t—Morantel—tartaric acid (Greenguard)，可保護松樹達兩年之久 。但一般費時、費力，故只適於小面積單株，如公園、校園、廟園、行道樹等[12]。至於1983年以後，逐改以對特定目標進行綜合防治，除以葯劑控制媒介昆蟲，病原線蟲外，尙進行抗病育種及選種。在發病嚴重（超過90％）之松林中，選取未發病之松樹作爲接穗，而後接種試驗其抗病性，以高抗病性之火炬松二年生幼苗作對照組，作進一步的篩選。而後再用病原性更高之松材線蟲做最後之篩選。目前已知由抗病性之馬尾松與罹病性之日本黑松育成極高抗病性之和華松 *(P. thunbergii × P. massoniana)*[19]。

所謂他山之石可以攻錯，借鏡日本之防治方法，針對本省之松樹線蟲萎凋病，願意提供幾點意見，以供防治之參考。

一、罹病地區，如大溪、慈湖、復興鄉、角板山、迴龍、泰山、三峽、陽明山、石門……等處枯死之松樹，宜立即加以砍伐，迅速焚燬，或送製紙廠做爲紙漿原料。

二、上述罹病地區，仍蒼翠健康之松樹，宜以滅豬蟲 (Morantel)、殺線蟲劑，行樹幹高壓灌注，每２～３年一次；其目的在收預防之效果。

三、台北縣、宜蘭縣山區較爲感病之琉球松林，考量經濟效益、生態條件，若合適時，以較爲抗病之濕地松林予以取代更新。

四、避免罹病地區之松林轉運至其他縣市，以免人爲助長病原之傳播。

松材線蟲萎凋之機制，雖經報導和代謝所產生之毒素有關，但仍有待進一步探討。在防治方面，根本解決之道，在抗病育種。不論經由傳統之雜交育種或經由組織培養之無性繁殖等途徑亦皆有待研究與發展。

四、結　　論

松樹萎凋病是一極為嚴重之森林病害，影響景觀、水源涵養、國土保安以及經濟層面之損失，故應立即進行全面防治，以防治止病之繼續蔓延。就基礎研究而言，此病之萎凋機制仍不甚清楚；其它之微生物，尤其是眞菌，是否可和松材線蟲具有協力作用，而造成複合性病害，亦尚未清楚[27]，此皆值得更進一步之研究。

五、參考文獻

1. 曾顯雄、朱耀沂。1986。 松材線蟲病及防治對策。28頁。台灣省林務局印行。
2. 顏志恆。1988 松樹萎凋病之研究及其防治。台大植病研究所、碩士論文。169頁。
3. Anon. 1984. Forest insects and disease conditions in Canada. Canada Forestry Service, Ottawa.
4. Bolla, R.I., F. Shaheen, and R. E. K. Winter. 1984. Effect of Phytotoxin from nematode-induced pine wilt on *Bursaphelenchus xylophilus* and *Ceratocystis ips*. J. Nematology 16:297-303.
5. Bolla, R. I., R. E. K. Winter, K. Fitzsimmons, and M. J. Lint. 1986. Pathotypes of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xyolphilus*. J. Nematology 18:230-238.
6. Cheng, H.R., M.S. Lin, W.C. Li, and C.D. Fang. 1983. The occurrence of a pine wilting disease caused by a nematode found in Nanjing. Forest Pest and Disease 4:1-5.
7. De Guiran, G., and A. Boulbria. 1981. Importance and characters of *Bursaphelenchus lignicolus* attacks on *Pinus pinaster* in France. Proc. 27th IUFRO world Congr. Committee Press.
8. Dropkin, V. H., A. Foudin, E. Kondo, M. J. Linit, M. Smith, and K. Robbins. 1981 Pine wood nematode: A threat to U. S. forests? Plant Dis. 65:1002-1027.
9. Ikeda, T. 1984. Integrated pest management of Japanese pine wilt disease. Eur. J. For. Path. 14:398-414.
10. Kondo, E., A. Foudin, M. J. Linit, M. Smith, R. I. Bolla, R. E. K. Winter, and V. H. Dropkin. 1982. Pine wilt disease - nematological, entomological, and biochemical investigations. 56pp. Missouri Agri. Exp. Sta. Publication. SR 282.
11. Linit, M. J. 1987. The insect component of pine wilt disease in the United States. *In* Pathogenicity of the pine wood nematode (M.J. Wingfield ed.) pp. 66-73.APS Press 122pp.

12. Magara, M., K. Hara, E. Inone, Y. Hatashi, A. Fujishits, and N. Nohira. 1981. Investigations of new techniques for the control of pine wilt treatment of single trees with chemicals. For. Pests. 30:11-16.

13. Mamiya, Y., and T. kiyohara. 1972. Description of *Bursaphelenchus ligicolus* nsp. from pinewood and histopathology of nematode-infested tree. Nematologica. 18:120-124.

14. Mamiya, Y. 1983. Pathology of the pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. Ann. Rev. Phytopathology. 21:201-220.

15. Nickle, W. R. 1970. A taxonomic review of the genera of the Aphelenchoidea (Fuchs, 1937) Thorne, 1949 (Nematoda: Tylenchida). J. Nematology 2:375-392.

16. Nickle, W.R., A. M. Golden, Y. Mamiya, and W. P. Wergin. 1981. On the taxonomy and morphology of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner. & Buhrer. 1934) Nickle. 1970. J. Nematology 13:385-392.

17. Odani, K., S. Sasaki, Y. Nishiyama, and N. Yamamoto. 1985. Early symptom development of the pine wilt disease by hydrolytic enzymes produced by the pine wood nematode-cellulase as a possible candidate of the pathogen. J. Jap. For. Soc. 67:366-372.

18. Oku, H., T.Shiraishi and S. Karozumi. 1979. Participation of toxin in wilting of pine caused by nematode. Naturwissenchaften 66:210.

19. Sasaki. K., and T. Furukoshii. 1976. The initial performance of interspecific hybrids, *Pinus thunbergii X P. massoniana.* and *P. tabulaeformis*- cone setting, seed quality, seedling growth and resistance for timer-nema. Trans. 87th. Ann. Meet. Jap. For. Soc. 18:183-184.

20. Shaheen, F., R. E. K. Winter, and R. I. Bolla. 1984. Phytotoxin production in *Bursaphelenchus xylophilus*- infected *Pinus sylvestris*. J. Nematology 16:57-61.

21. Steiner, G.,, and E. M. Buhrer. 1934. *Aphelenchoides xylophilus*. N. Sp. a nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. J. Agric. Res. 48:949-951.

22. Sugawa, T. 1982. Occurence of traumatic resin canals and cytological changes of parenchyma cells in the stems of Japanese black pine wood nematode. J. Jap. For. Soc. 64:112-116.

23. Tamara, H., K. Mine, and T. Yamado. 1987. Blockage of water conduction in *Pinus thunbergii* inoculated with *Bursaphelenchus xylophilus,* Jpn. J. Nematolo. 17:23-30.

24. Tokushige, Y., and T. Kiyohara. 1969. *Bursaphelenchus* sp. in the wood of dead pine trees. J. Jan. For. Soc. 51:193-195.

25. Ueda, ., T. Oku, K. Tomita, K. Sato, and T. Shiraishi. 1984. Isolation, identification, and bioassay of toxic compounds from pine tree naturally infected by pine wood nematode. Ann. Phytopath. Soc. Jap. 50:166-175.

26. Wingfield, M. J., R. A. Blanchett, T. H. Nicholllas, and K. Robbins. 1982. The pine wood nematode: a comparison of the situation in the United States and Japan. Can. J. For Res. 12:71-75.

27. Wingfield, M. J. 1987. Fungi associated with pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus.* and Cerambycid beetles in Wisconsin. Mycologia 79:325-328.

28. Winney, R. 1983. Preliminary observations on the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in Hong Kong. Hong Kong Agri. & Fish. Dept. Hong Kong.

29. Yano, M. 1913. Investigations on the cause of pine morality in Nagasaki Prefecture. Sanrin-Koho. 4:1-14.

六、討　　論

羅宗爵（亞洲農業技術服務中心）問：

松材線蟲為害的最明顯病徵爲何？

曾顯雄（國立台灣大學）答：

松材線蟲萎凋病最明顯病徵爲：

1. 植株急速萎凋死亡。
2. 針葉短期內（2週～2個月）變成紅棕色。
3. 流脂停止（松脂管被堵塞），此徵狀在未呈現外在病徵以前即已發生。
4. 水分蒸散率降低。

程永雄（農業試驗所）問：

松材線蟲侵害松樹，能使植株在兩週內急速死亡，在病變過程中，是否有有毒物質的產生？

曾顯雄（國立台灣大學）答：

在日本、美國研究，由萎凋松樹萃取酚類衍生物，再以此類衍生物灌注松樹（二、三年生）亦可導致相似萎凋病病徵，故推論此衍生物可能和萎凋病有關，但有待更進一步證實。

林奕耀（國立中興大學）問：

在日本使用Terracur P，樹幹穿孔後，用小形滴管防治，如何改善？

曾顯雄（國立台灣大學）答：

日本目前在公園、庭院、寺廟及校園之貴重松樹，具景觀或紀念價值者推荐滅豬蟲（Morantel）來行灌注防治，每瓶滅豬蟲約700～1000ml 左右，若樹齡較高，林積較多時，則使用量也需酌量增加。